



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author -deposited version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID: 4533

URL:

To cite this version: LIZY-DESTREZ Stéphanie, CAUSSE Mickael, KAMALI Sudeh. Application de la démarche d'ingénierie de système pour la conception d'une plate-forme d'ingénierie simultanée pour les avant-projets spatiaux. *Génie logiciel : le magazine de l'ingénierie du logiciel et des systèmes*, 2011, n° 96.
ISSN 1265-1397

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator:
staff-oatao@inp-toulouse.fr

Application de la Démarche d'Ingénierie de Système pour la Conception d'une Plate-Forme d'Ingénierie Simultanée pour les Avant-Projets Spatiaux

Stéphanie Lizy-Destrez, Sudeh Kamali et Mickaël Causse

Résumé : La phase de conception d'une mission spatiale, et notamment l'avant-projet, requiert une large gamme d'outils logiciels en support à l'analyse de mission (définition des trajectoires), du pré-dimensionnement (établissement de bilan de performances), choix d'architecture, préparation des essais de vérification et de validation... À l'ISAE/SUPAERO, les équipes de recherche du « Centre Aéronautique et Spatial » (C.A.S) ont développé leurs propres outils de conception préliminaire pour répondre spécifiquement à leurs besoins, réduire les coûts d'acquisition et acquérir compétences et savoir-faire. L'objet principal de cet article est de présenter la démarche appliquée dans cette étude de conception d'une plate-forme d'ingénierie concourante pour des avant-projets spatiaux. Les auteurs se concentrent essentiellement sur les processus d'ingénierie du besoin et de conception fonctionnelle. Plus particulièrement, ils décrivent la démarche d'inspection cognitive et les résultats obtenus.

Mots clés : Systèmes spatiaux, plate-forme d'ingénierie simultanée, inspection cognitive, architecture fonctionnelle

1. INTRODUCTION

La phase de conception d'une mission spatiale, et notamment l'avant-projet, requiert une large gamme d'outils logiciels en support à l'analyse de mission (définition des trajectoires), du pré-dimensionnement (établissement de bilan de performances), du choix d'architecture, de la préparation des essais de vérification et de validation, etc.

À l'ISAE/SUPAERO, les équipes de recherche du « Centre Aéronautique et Spatial » (C.A.S) ont développé leurs propres outils de conception préliminaire pour des missions spatiales afin de répondre spécifiquement à leurs besoins, réduire les coûts d'acquisition et acquérir compétences et savoir-faire. L'un des principaux objectifs de ces logiciels est d'apporter un support pédagogique et didactique à l'enseignement et à la recherche, dans le domaine des systèmes spatiaux (support aux projets étudiants, thèses et recherche appliquée). Cependant, étant gérés indépendamment, ces outils ont des niveaux de maturité hétérogènes et évoluent de façon non concertée. Il nous est donc apparu opportun de les regrouper en une plate-forme de conception unique.

Cette plate-forme devra permettre d'aborder, en phase d'avant-projet, tout type de mission spatiale (télécommunications, observation de la Terre, projet militaire, exploration ou vols habités) et d'accueillir les premières études de dimensionnement (activités transverses comme la gestion de projet, l'ingénierie système,... et des disciplines plus spécialisées comme l'orbitographie, la structure, les télécommunications, le contrôle d'attitude et d'orbite, les bilans de puissance, la thermique...). Elle pourra être utilisée pour des projets de développement de petits satellites étudiants (cubesat, nanosatellite ou microsatellite). Par conséquent, l'utilisation d'une telle plate-forme numérique pourra servir de banc de tests et de validation, de simulateur (pour l'entraînement aux opérations), de démonstrateur et de ressource pédagogique dans le cadre de l'enseignement assisté par ordinateur (EAO).

L'objet principal de cet article est de présenter la démarche appliquée dans cette étude de conception d'une plate-forme d'ingénierie simultanée pour des avant-projets spatiaux. L'article n'exposera pas le concept obtenu pour cette plate-forme. Par la suite, nous présentons l'approche d'ingénierie de système qui a été mise en place à partir de l'analyse du besoin pour proposer une première architecture fonctionnelle d'une telle plate-forme. Le chapitre 2 présente une synthèse de la méthode appliquée. Le chapitre 3 décrit comment une mission spatiale est modélisée. Le chapitre 4 expose les résultats de l'analyse du contexte (avec un point particulier sur l'application de la démarche de *cognitive walkthroughs*). Le chapitre 5 montre la conception fonctionnelle obtenue. Enfin, le chapitre 6 concerne la conclusion et les perspectives.

2. PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE

Le processus global d'ingénierie de système est un processus long, itératif et récursif. Il comprend notamment quatre activités fondamentales que sont l'ingénierie du besoin, l'ingénierie des exigences, la conception fonctionnelle et l'architecture organique.

- L'ingénierie du besoin transforme le besoin ressenti en besoin exprimé. Elle est généralement conduite par le client ;
- L'ingénierie des exigences transforme le besoin exprimé en exigences techniques. Elle est menée par le fournisseur en réponse à la demande de son client ;
- La conception fonctionnelle transforme les exigences techniques en modèle fonctionnel du système ;
- L'architecture organique transforme le modèle fonctionnel en une solution physique et concrète.

Dans le cadre de l'étude de cette plate-forme pour les missions spatiales, il n'était pas possible de dérouler ce processus dans son intégralité. Il a donc été choisi de mettre en place une démarche simplifiée décrite ci-dessous.

La démarche que nous avons adoptée sur ce projet s'inspire de deux des principaux processus de la démarche d'ingénierie système : le processus d'ingénierie du besoin et le processus de conception fonctionnelle. Néanmoins, compte tenu des particularités des missions spatiales, il nous a été nécessaire d'adapter certaines étapes. L'agencement de ces activités est présenté sur le schéma de la figure 1. L'ingénierie du besoin est en partie couverte par les trois premières activités (représentées dans des boîtes grises).

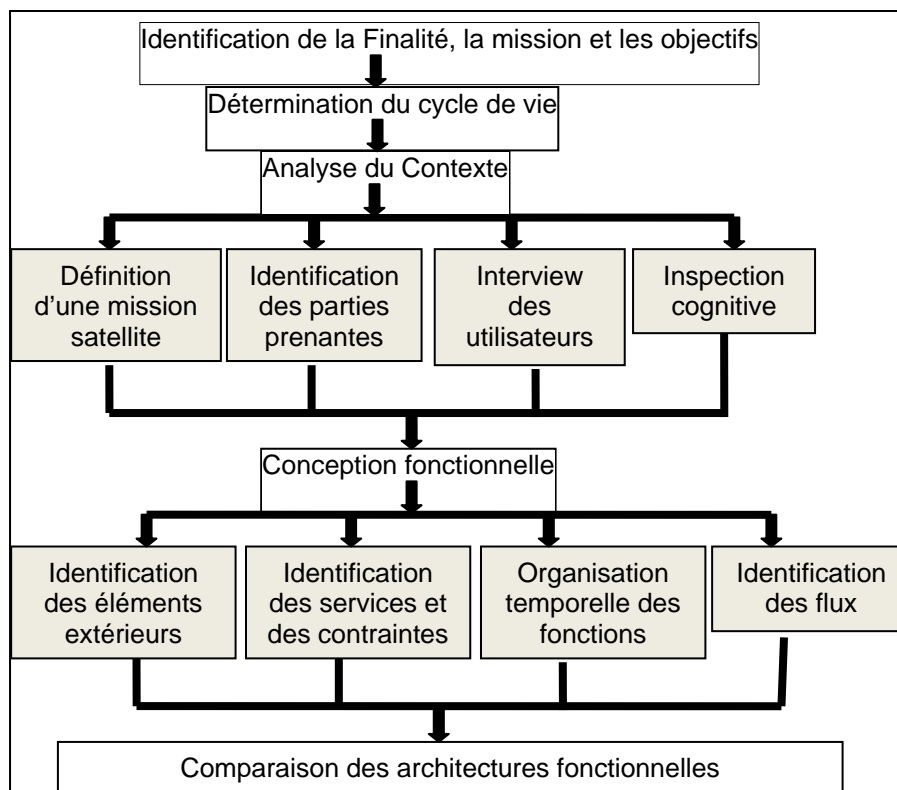


Figure 1 : Synthèse de la démarche

La première activité a consisté à déterminer à partir du besoin exprimé par l'équipe de recherche, la finalité d'une telle plate-forme, sa mission et ses objectifs principaux. Ces éléments étant validés auprès du demandeur, une analyse détaillée du cycle de vie de cette plate-forme a été menée, sur la base des recommandations du NASA SE handbook ([7]). Le cycle de vie obtenu donne la succession de phases montrée à la figure 2 :

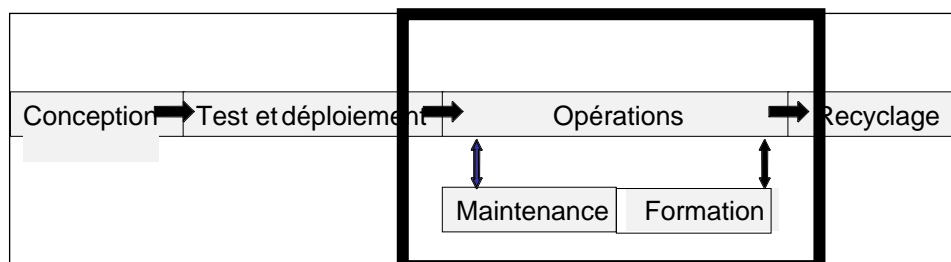


Figure 2 : Cycle de vie de la plate-forme

Les phases de maintenance et de formation des utilisateurs se déroulent en parallèle de la phase opérationnelle. Ces phases peuvent alors être elles-mêmes décomposées en situations. On différenciera en particulier au sein d'une phase, les situations nominales des situations de contingences (cas de pannes, erreurs d'utilisation, occurrence d'événements non prévus, comportement anormal).

L'étape suivante consiste en l'analyse du contexte. Cette activité est composée de différentes tâches, que sont la définition de la mission satellite (présentée au chapitre 3), l'identification des parties prenantes, les interviews des utilisateurs et l'inspection cognitive (ces trois dernières tâches étant décrites au chapitre 4). Les résultats de l'analyse du contexte ont permis de traduire les besoins en une première version de jeu d'exigences techniques. Cette évaluation (Cognitive Walkthroughs) se place dans le processus d'ingénierie du besoin afin d'identifier au mieux les attentes utilisateurs et de pouvoir rédiger les spécifications techniques.

L'étape de conception fonctionnelle a permis, à partir des exigences techniques établies précédemment, d'élaborer plusieurs architectures fonctionnelles de la plate-forme en identifiant les éléments extérieurs avec lesquels elle sera en interface, les services (fonctions) qu'elle doit rendre et les contraintes auxquelles elle est soumise, puis en proposant une organisation temporelle des fonctions retenues et en identifiant les flux de données entre ces fonctions. Les différentes architectures fonctionnelles, ainsi obtenues, ont été modélisées à travers des diagrammes eFFBD (*enhanced Function Flow Block Diagrams*). Cette étape est décrite au chapitre 5. La dernière étape a consisté à comparer ces architectures fonctionnelles pour n'en retenir qu'une seule.

L'ensemble du processus présenté ici n'est pas linéaire, mais itératif. Dans cet article, nous présentons le résultat obtenu après plusieurs itérations.

3. MODÉLISATION D'UNE MISSION SPATIALE

Dans le cadre de cette étude, on définit par « mission spatiale » tout nouvel avant-projet qui consiste à envoyer un objet complexe et communiquant dans l'espace afin d'accomplir un (ou des) objectif(s). La plate-forme en cours de conception doit pouvoir supporter tous types de véhicule spatial (lanceur, satellite, sondes, véhicules de ré-entrée,...), sur n'importe quel type de trajectoire (orbite autour de la Terre, trajectoires vers la Lune, Mars ou toute autre destination aux confins de l'Espace) et pour tout type d'objectifs (civil ou militaire, scientifique ou économique,...).

Par conséquent, la première partie de ce projet a été consacrée à définir ce qu'est une mission spatiale, à la caractériser, puis à définir les sous-systèmes de véhicules spatiaux à modéliser dans la plate-forme. À travers l'analyse de documents de références (tel le SMAD de W. J. Larson et J. R. Wertz [5] ou l'ouvrage de P. Fortescue, J. Stark et G. Swinerd [3]), il en a été déduit que les missions spatiales pouvaient être réparties suivant plusieurs catégories, soit selon leur type de trajectoire, de charge utile ou d'objectifs. En synthèse d'une analyse bibliographique, les missions spatiales (hors vol habité) existantes ou en cours de conception ont été classées selon la matrice de la figure 4, classant les objectifs versus les trajectoires.

Légende :

- ● représente les missions existantes
- ○ représente les missions futures déjà programmées

<div>Trajectoires</div> <div>Objectifs</div>	Orbitales							Survol	Atterrissage	Retour d'échantillons
	Au voisinage de la Terre					Espace lointain				
	LE O	G E O	M E O	H E O	Fortement elliptique	Surface lunaire	Points de libération du système Terre – Soleil			
Télécommunications	•	•	•	•	•	•	○			
Navigation	•	•	•	•	•	•	○			
Militaire	•	•	•	•	•	•				
Militaire	•	•	•	•	•	•				
Démonstration technologiques	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Scientifiques	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Ressources terrestres	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Météorologie	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Astronomie	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Environnement spatial	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Stations spatiales	•	•	•	•	•	•	○	○	○	○
Démonstrations technologiques	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

Figure 3 : Matrice de caractérisation des missions spatiales

D'une part, il a donc été décidé que dans la plate-forme, une mission spatiale serait représentée par le couple d'informations (objectif, trajectoire) et que la toute première action à faire par l'utilisateur devrait être de renseigner ce champ dans la plate-forme. D'autre part, il est apparu nécessaire de découper les situations nominales de la phase opérationnelle du cycle de vie de la plate-forme selon le type de mission (à savoir selon le type d'objectifs).

Ces données ayant été saisies dans la plate-forme, l'utilisateur pourra s'intéresser aux sous-systèmes qui composent son véhicule spatial. Classiquement les sous-systèmes des véhicules spatiaux sont regroupés ainsi :

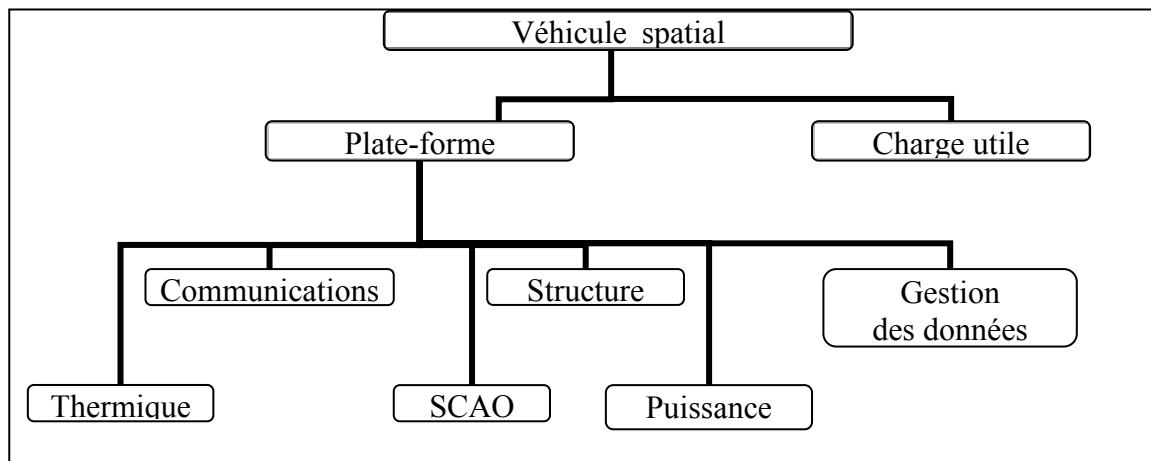


Figure 4 : Décomposition générique d'un véhicule spatial

Ainsi, l'utilisateur ayant défini la mission étudiée, pourra modéliser, puis analyser les sous-systèmes suivants de son véhicule : la charge utile et la plate-forme contenant les éléments structurels dont les mécanismes, le sous-système de puissance, le SCAO (Système de Contrôle d'Attitude et d'Orbite, incluant la propulsion), le sous-système de communication, le sous-système thermique et la gestion des données.

4. ANALYSE DU CONTEXTE

L'analyse du contexte consiste à comprendre l'environnement dans lequel le système en cours de conception va évoluer. Cet environnement peut être différent d'une situation à l'autre. Dans cette étude préliminaire, nous avons choisi de nous concentrer sur deux phases principales : la phase de conception et la phase opérationnelle.

La première tâche de cette analyse était d'identifier les parties prenantes du projet, c'est-à-dire toute personne ou organisation étant impliquée dans le projet de développement de cette plate-forme. Les grandes catégories de parties prenantes déterminées sont l'ISAE (Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace), les utilisateurs, l'équipe support, l'équipe de développement, les concepteurs, les fournisseurs d'outils concurrents, les utilisateurs potentiels,.... Les utilisateurs sont les personnes qui manipulaient déjà les logiciels séparément, répartis en trois classes : les étudiants, les chercheurs et les enseignants.

Une stratégie a alors été mise en place pour obtenir les besoins exprimés par ces parties prenantes :

- Élaboration d'un questionnaire et diffusion vers les utilisateurs
- Interviews d'utilisateurs types (au moins par classes retenues)
- Évaluation des logiciels existants par la méthode de *Cognitive Walkthroughs*

Les principaux outils déjà existants au sein du CAS sont :

- **Satorb** pour le « tracking » (suivi en orbite) et d'analyse de mission ;
- **Simusat** pour la simulation satellite ;
- **Simulaunch** pour la simulation de lancement ;
- **Equinox** pour les trajectoires interplanétaires ;
- **Selena** pour les trajectoires Terre-Lune ;
- **Descent** pour les trajectoires de ré-entrée ;

Ci-dessous une capture d'écran de Satorb :

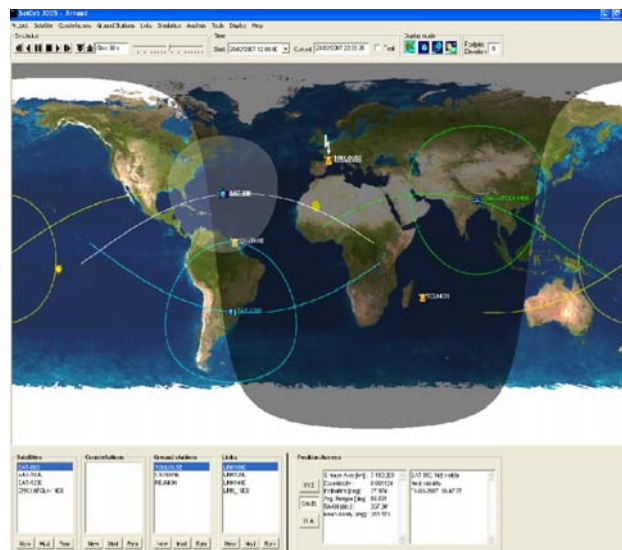


Figure 5 : Capture d'écran de Satorb

L'exploitation des résultats de l'enquête (composés des interviews et des questionnaires réalisés avec les utilisateurs) a révélé de nouveaux besoins (notamment évolutions attendues, ergonomie des outils, nouvelles fonctionnalités, présence de bogues....). L'inspection cognitive a, quant à elle, permis de détecter et de corriger un grand nombre de problèmes d'utilisabilité (défini par l'efficacité, l'efficacité et la satisfaction des utilisateurs).

4-1 Présentation de l'inspection cognitive

La plate-forme d'ingénierie simultanée est destinée à être exploitée par une large variété d'utilisateurs (experts, enseignants, etc.). Ces derniers peuvent être tout à fait novices (élèves) et sont amenés à employer les outils de façon occasionnelle. De fait, la facilité d'apprentissage était un critère extrêmement important dans le cadre de nos évaluations. L'inspection cognitive a été sélectionnée, car il s'agit d'une méthode d'évaluation de l'utilisabilité qui permet de focaliser les investigations tout particulièrement sur l'intuitivité de l'interface.

Le modèle théorique sur lequel repose l'inspection cognitive est proche du modèle de l'action de Donald Norman [9]. Contrairement à l'expert qui invoque, grâce à ses connaissances, des règles liant objectif et action, l'utilisateur novice doit découvrir les actions pertinentes à entreprendre. L'utilisateur tente d'arriver à son but, puis interprète les changements consécutifs à ses actions (Figure 6). Les étapes permettant d'atteindre un but constituent les différentes séquences cognitives sous-jacentes à l'activité de l'utilisateur lors de la découverte du système. L'inspection cognitive permet d'établir la liste des problèmes de conception qui rendent complexe le franchissement de chacune de ces étapes.

Le bon déroulement d'une séance d'inspection cognitive passe principalement par une préparation minutieuse de trois points :

- *La détermination du/des type(s) d'utilisateur(s) potentiels* : typiquement il est décrit en fonction de son âge, son expertise dans le domaine traité (éventuellement sa formation). Son niveau en informatique doit également être identifié.
- *Une description des scénarii d'utilisation* : il est recommandé d'établir au moins un scénario simple et un scénario complexe. Les informations fournies peuvent concerner la posture de l'utilisateur, les conditions d'utilisation (bruit, luminosité, mobilité), le type de système utilisé, etc.
- *Une liste des actions correctes requises pour accomplir chacun de ces scénarios avec l'interface à évaluer* : il s'agit d'établir une liste exhaustive des actions physiques élémentaires que doivent réaliser les utilisateurs pour parvenir au but décrit dans le scénario.

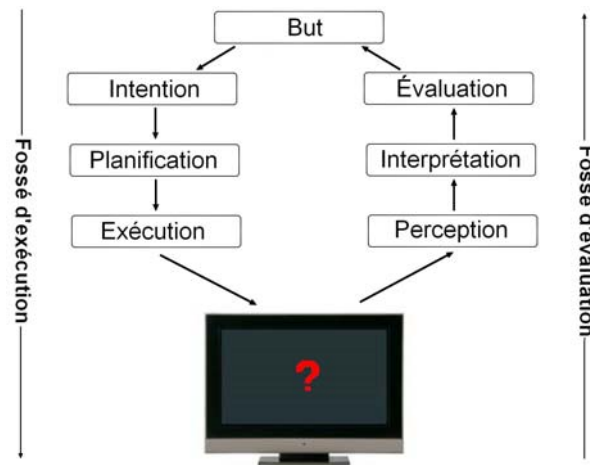


Figure 6 : Illustration du modèle de l'action de Donald Norman

4.2 Application de la démarche d'inspection cognitive

a Le processus d'inspection

La procédure va permettre d'analyser pas à pas l'interaction avec le système, sur la base de scénarii préalablement définis en raison de leur pertinence au regard de l'utilisation potentielle des utilisateurs. Concrètement, la méthode consiste à poser une série de questions avant chaque action physique élémentaire, ce qui permet de mettre en évidence les problèmes d'utilisabilité et d'anticiper les difficultés potentielles. D'après certaines études [1, 5], cette méthode permet de déceler entre 30 et 50% des problèmes d'utilisabilité liés à la conception. Il est à noter que plus les problèmes d'utilisabilité sont découverts tôt, moins ils sont coûteux à corriger.

Lors des séances, l'évaluateur pose quatre questions à chaque action physique élémentaire décrit dans les scénarii : « est-ce que l'utilisateur va essayer de réaliser le but attendu / Est-ce qu'il saura ce qu'il doit faire ? » ; « Est-ce que l'utilisateur pourra constater que l'action nécessaire pour réaliser son but courant est disponible ? » ; « Est-ce que l'utilisateur associera l'action correcte avec l'effet qu'il recherche ? » ; « Si l'action correcte est réalisée, est-ce que l'utilisateur verra qu'un progrès a été fait vers son but ? ». En principe, les évaluateurs doivent documenter en les justifiant toute réponse à ces questions, qu'elles soient positives ou négatives. Lors de nos inspections, nous avons également ajouté une note de criticité à chaque problème identifié. Cette note était basée notamment sur le nombre de participants ayant relevé un problème donné ainsi que la fréquence avec laquelle ce problème serait possiblement rencontré au cours du cycle de vie du logiciel.

b Déroulement des séances

Comme vu précédemment, trois types d'utilisateurs type ont été identifiés en raison de leur importance dans le cycle de vie du logiciel : les *enseignants*, les *étudiants* et les *chercheurs*. Plusieurs séances d'inspection cognitive ont été menées, une pour chaque type d'utilisateur. Le scénario établi consistait en une mission d'observation de la terre. L'utilisateur devait prendre des photographies de la planète et les envoyer à une station au sol. Comme décrit précédemment, pour chaque action élémentaire, les évaluateurs sont invités à se poser les quatre questions décrites plus haut et à y répondre tout en confrontant leurs points de vue.

c Résultats des séances

Les différentes séances ont permis de déceler un nombre important de problèmes d'utilisabilité au sein de l'application. Les résultats ont été collectés sous forme de tableau, ils présentent les jugements négatifs avec les pistes de solutions proposées. Le tableau présente une entrée différente en fonction du profil d'utilisateur. Le but de ce document est de communiquer rapidement et simplement des modifications à effectuer sur l'interface. Les bonnes idées ont été également relevées. Il est intéressant de noter que le type de problème détecté évoluait en fonction du profil. Alors que les étudiants formulaient généralement des jugements négatifs, concernant des problèmes d'utilisabilité très pragmatiques, les enseignants et les chercheurs rapportaient également des éléments négatifs dont l'identification nécessitaient une connaissance experte du domaine (exemple : problème de standardisation des labels des stations sols). Ainsi, la variété des profils utilisateurs engagés dans le processus d'inspection a permis d'identifier des problèmes d'utilisabilité tant au niveau de l'utilisation concrète de l'interface que de son exploitation opérationnelle plus globale.

5. CONCEPTION FONCTIONNELLE

L'étape d'ingénierie des besoins a duré les deux premiers tiers de la période totale de l'étude. Les résultats ont pu ensuite être exploités dans l'étape de conception fonctionnelle.

La conception fonctionnelle est un des quatre processus principaux de la démarche d'ingénierie de système avec l'ingénierie des besoins des parties prenantes, l'ingénierie des exigences et l'architecture organique. Elle permet, à partir du dossier d'analyse mission et de l'expression des exigences relatives au système étudié, de composer un agencement des fonctions attendues du système d'un point de vue temporel et structurel (échanges des données entre les éléments fonctionnels).

La démarche retenue pour mener à bien la conception fonctionnelle de cette plate-forme d'ingénierie d'avant-projets spatiaux repose sur la méthode SA (Structured Analysis) pour la décomposition en niveaux hiérarchiques (partant des fonctions les plus globales vers les fonctions élémentaires, non décomposables) et le formalisme eFFBD pour la représentation graphique (la notation eFFBD est décrite dans le NASA SE handbook [7]). Les eFFBD ont été retenus, car ils permettent en une seule vue de représenter la dualité de point de vue sur le système (vue temporelle et vue structurelle).

Les principales activités de cette étape de conception sont :

- l'identification des éléments du contexte, en interface directe avec la plate-forme ;
- des services (ou fonctions) fournies par la plate-forme aux éléments extérieurs ;
- la détermination des contraintes imposées par les éléments extérieurs à la plate-forme ;
- l'organisation temporelle des fonctions (quel ordonnancement, quelles branches parallèles,...) ;
- l'identification des flux (échanges d'entrées-sorties entre les fonctions).

En regroupant tous ces éléments dans un premier diagramme eFFBD de la plate-forme dans son contexte, on obtient le schéma suivant :

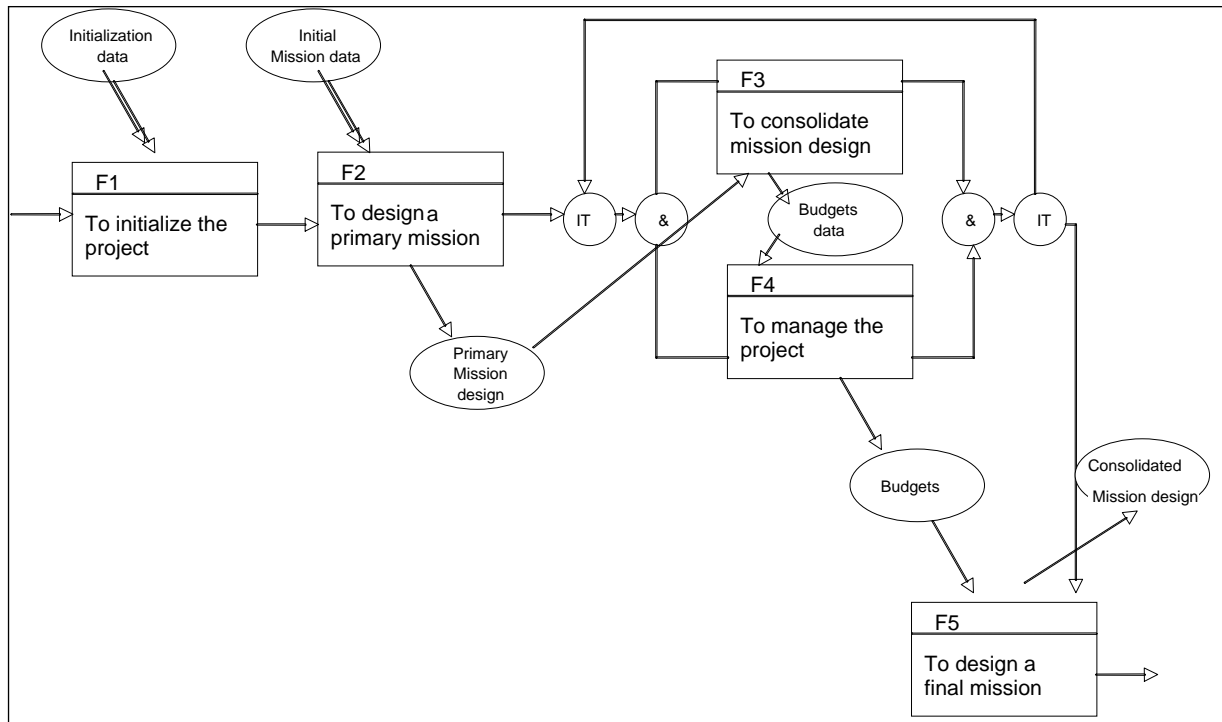


Figure 7 : Diagramme eFFBD de la mission principale

Les données sont représentées par des formes vertes, les fonctions par des rectangles blancs. Il s'agit ensuite de décomposer chacune de ces fonctions principales en fonctions élémentaires, qui seront elles-mêmes regroupées dans un nouveau niveau hiérarchique.

Ces derniers blocs fonctionnels proviennent de la décomposition de la mission de la plate-forme. La décomposition de ces blocs de premier niveau (F1 à F5) a permis ensuite d'identifier les services directs que la plate-forme devra rendre à son utilisateur (comme apporter un support à la conception de la charge utile, puis à la plate-forme, ensuite à chacun des sous-systèmes du véhicule). Cette démarche nous a conduits à réfléchir aux étapes de conception d'un véhicule spatial et à identifier les échanges nécessaires entre les spécialistes des différentes disciplines. Nous avons notamment mis en évidence les difficultés liées à la synchronisation des activités, le partage des informations (données scientifiques, caractéristiques de dimensionnement,...). Ces constats ont permis notamment de renforcer la nécessité de développer une telle plate-forme d'ingénierie concourante, qui favorisera le travail collaboratif et assurera une compréhension globale du système spatial en cours de conception.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Lors de cette étude préliminaire de conception d'une plate-forme d'ingénierie simultanée pour les avant-projets spatiaux, nous nous sommes essentiellement concentrés sur les processus d'ingénierie du besoin et de conception fonctionnelle. D'une part, nous avons plus particulièrement introduit une enquête utilisateur (interview, questionnaires) et la démarche d'inspection cognitive, qui ont conduit à caractériser de façon précise les différents besoins utilisateurs en fonction de leur catégorie et à grandement améliorer l'utilisabilité du système. D'autre part, cette étude a permis de formaliser la démarche de conception d'un véhicule spatial dans les phases d'avant-projets.

Fort de ses premiers résultats, les nouvelles étapes du projet va consister essentiellement à construire une architecture organique de cette plate-forme, à mener des études de compromis pour trouver la solution optimale répondant aux besoins identifiés. Notamment, un effort particulier va être porté sur le développement des IHMs.

7. BIBLIOGRAPHIE

- [1] G. Cockton et A. Woolrych : *Sale must end: Should discount methods be cleared off HCI's shelves?* ; Interactions, 9(5), pp. 13-18, 2002
- [2] T. D. Damon : *Introduction to Space, Third Edition* ; Krieger Publishing Company, Malabar, Floride, 2001

- [3] P. Fortescue, J. Stark et G. Swinerd : *Spacecraft Systems Engineering, Third Edition* ; John Wiley & Sons Ltd, Grande-Bretagne, West Sussex, 2003.
- [4] R. D. Karam : *Satellite Thermal Control for Systems Engineer* ; American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1998.
- [5] C.-M. Karat, R. Campbell et T. Fiegel : *Comparison of empirical testing and walkthrough methods in user interface evaluation* ; Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 92), Monterey, Californie, 3-7 mai 1992, pp. 397-404.
- [6] W. J. Larson et J. R. Wertz : *Space mission analysis and design* ; Microcosm, Inc & Kluwer Academic Publisher, 1992.
- [7] NASA : *NASA System Engineering Handbook* ; National Aeronautics and Space Administration, NASA Headquarters, Washington D.C., 2007.
- [8] J. Nielsen et R. L. Mack : *Usability Inspection Methods* ; John Wiley & Sons, New-York, États-Unis, 1994.
- [9] D. A. Norman : *The psychology of everyday things* ; Basic Books, New-York, 1988.
- [10] G. Picart : *Prestoplot: An emergent standard telemetry tracing tool* ; SpaceOps Conference, CNES, Toulouse, France, 2006.
- [11] P. G. Polson : *Cognitive walkthroughs: a method for theory-based evaluation of user interfaces* ; University of Colorado, 1992.
- [12] C. Wharton, J. Rieman, C. Lewis et P. G. Polson : *The cognitive walkthrough method: A practitioner's guide* ; University of Colorado, 1994.